

Copyright 2005, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE PAINA (*CHORISIA SPECIOSA*) COMO SORVENTE DE ÓLEO CRU. PARTE II: CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA X CAPACIDADE DE SORÇÃO

Teoli R. Annunciado, Sandro C. Amico e Thais H.D. Sydenstricker

Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Caixa Postal 19.011. 81.531-990. Curitiba-PR.

gralhaazul@universiabrasil.net, amico@ufpr.br, thais@demec.ufpr.br

Resumo – Apesar de acidentes envolvendo a perda de óleo proveniente de tanques representarem grandes desastres, a principal perda de óleo ocorre durante o transporte/transferência do petróleo. Derramamentos de óleo têm ocorrido com frequência e resultam em enormes danos ambientais e perda de óleo, sendo que vários sorventes podem ser usados na remediação de águas poluídas, incluindo fibras vegetais. Embora produtos orgânicos vegetais em geral apresentem baixa flutuabilidade e hidrofobicidade e relativa baixa capacidade de sorção, materiais celulósicos como a paina exibem uma capacidade de sorção maior que de polipropileno e de sorventes vegetais comerciais à base de turfa. A rápida e elevada capacidade de sorção de óleo cru (aproximadamente 85 e 94 g óleo/g paina em 1 e em 7 dias, respectivamente) e a baixa sorção de água das fibras de paina, reportadas na parte I deste artigo, foram discutidas com base na estrutura dos seus filamentos fibrosos e na sua composição química (teor de ceras, lignina, hemicelulose, α -celulose e cinzas). Análise termogravimétrica da fibra também foi realizada. A paina apresentou excelente hidrofobicidade (aproximadamente 98%) e flutuabilidade (100%) em todas as condições avaliadas, sendo indicada para a remediação também em corpos hídricos.

Palavras-Chave: paina; sorvente; caracterização físico-química

Abstract – Although oil tanker disastrous accidents give massive oil spill, it is known that the major loss of oil occurs during its transportation and transfer. Oil spills have occurred frequently and result in a great deal of damage to the environment and a great loss of oil. A broad spectrum of different sorbent products is available for remediation of water pollution, including vegetable fibers. Although organic vegetable products usually exhibit poor buoyancy, low hydrophobicity and relatively low oil sorption capacity, cellulose materials such as silk-floss exhibit a sorption capacity greater than that of polypropylene and commercial natural sorbents based on peat moss. The fast and high oil sorption capacity of silk-floss fibers (approximately 85 and 94 g of oil/g silk-floss in 1 and in 7 days, respectively) and their low water uptake, reported in part I of this paper, have been discussed in view of their chemical composition (wax, lignin, hemicellulose, α -cellulose and ash content) and fibrous structure. Thermogravimetric analysis of the fiber was also carried out. The silk-floss showed excellent hydrophobicity (around 98%) and buoyancy (100%) in all simulated conditions evaluated, being also indicated to the remediation in the presence of water.

Keywords: silk-floss, sorbent, physical-chemical characterization

1. Introdução

Quando uma empresa atua de forma ambientalmente correta, garante uma imagem mais atrativa dentro do mercado, obtém um diferencial de competitividade entre os seus concorrentes e também reduz gastos, dentre outras vantagens. A mera otimização do lucro não é mais considerado pelas empresas o foco principal do negócio já que as questões relacionadas ao meio ambiente devem ser encaradas não somente como um fator de vantagem competitiva, mas como um fator de perpetuidade de negócios (Revista Meio Ambiente Industrial, 2004).

Sorventes naturais, orgânicos e inorgânicos, foram os primeiros a serem empregados no controle de derramamentos de materiais poluentes como o petróleo e seus derivados. No entanto, em comparação aos sorventes sintéticos como os à base de poliuretano, polipropileno ou poliamidas, as fibras vegetais, na sua maioria, absorvem muito mais água, apresentam capacidade de sorção muito mais baixa e podem afundar em sistemas hídricos devido à sua densidade. Por outro lado, as fibras vegetais são ecologicamente mais amigáveis que os polímeros sintéticos, vêm de fonte renovável e abundante no Brasil, são biodegradáveis e em geral têm custo menor que de sorventes sintéticos.

Além de condições climáticas extremamente favoráveis à agricultura, solos férteis e abundantes, o Brasil deve aproveitar a oportunidade de promover o desenvolvimento econômico e social auto-sustentado, através do incentivo a projetos cuja matéria-prima seja de origem vegetal, agregando valor a esses produtos. Pequenas e médias propriedades rurais podem participar de atividades cooperativas, fornecendo insumos vegetais para matérias-primas industriais nas entressafras de produtos alimentícios. É preciso considerar também o custo ambiental da disposição final de produtos convencionais, principalmente os polímeros sintéticos quando comparados a fibras vegetais e pesar os benefícios sociais que o uso desses materiais acarretam.

As fibra vegetais são compostas basicamente por celulose, hemicelulose, lignina e constituintes menores. Em geral, o teor de celulose varia entre 60-80%, o teor de lignina fica em torno de 5-20%, enquanto que outras misturas variam cerca de 20% (Fengel e Wegener, 1989). Os constituintes solúveis em solventes orgânicos, em água ou em ambos, são normalmente denominados de extrativos. A escolha adequada de sorventes vegetais usados em tratamentos de derramamentos depende da hidrofobicidade, capacidade de sorção, fluatibilidade, biodegradabilidade, capacidade de recuperação etc que varia em função da composição química e morfológica das fibras.

Ribeiro et al. (2000) estudaram a sorção de óleo livre ou emulsificado em folhas de *Salvinia* sp. e observaram que a alta porosidade do material é responsável pela adsorção e que a absorção do óleo no interior dos poros vazios da biomassa acontece devido à capilaridade. Comercialmente, as turfás (*Salvinia* sp. e principalmente os produtos canadenses) e as celuloses são os sorventes vegetais mais usados devido à sua alta eficiência.

Assim, após uma intensa pesquisa sobre a utilização de várias fibras vegetais nacionais como sorventes alternativos para o setor do petróleo, foi concluído que a *Chorisia speciosa* ou paina é um material bastante promissor para a aplicação considerada. Na parte I deste artigo, as fibras de paina foram estudadas como materiais sorventes para óleo em várias condições de derramamento, isto é, em meio seco ou aquoso, doce ou salgado, em sistema estático ou agitado com variação de temperatura e pH. Na parte II deste artigo, foi feito um esforço para se caracterizar de forma abrangente as fibras de paina, um novo material sorvente nacional de alta eficiência e ecologicamente amigável, e de justificar a sua elevada capacidade de sorção através de análises químicas e morfológicas do material.

2. Materiais e Métodos

O petróleo usado, oriundo de Bacia de Campos/RJ, foi doado pela Repar/Petrobrás. A densidade do óleo bruto, 0,887 g/cm³ a 20°C, foi determinada conforme a norma ASTM D1298-85. A viscosidade do óleo, 34 cp a 20°C foi determinada com o auxílio de um reo-viscosímetro Hoeppler da marca MLU.

As fibras de *Chorisia speciosa* st. Hill (chamada de paina) foram obtidas a partir de árvores locais. Devido ao grande volume ocupado pela paina, sua densidade foi estimada em menor que 0,62 g/cm³ pela imersão de uma porção da amostra em um becker contendo uma substância de baixa densidade (pentano). A densidade do pentano foi determinada segundo a norma ASTM D4052, com o auxílio do densímetro automático DMA 4500.

Testes de fluatibilidade para a paina foram realizados em água deionizada para simular um corpo hídrico de água doce e em água marinha artificialmente preparada de acordo com a ASTM D1141-90. Os testes seguiram a metodologia de Ribeiro et al. (2000) em teste estático ou dinâmico, sob agitação, para determinação do percentual de fluatibilidade (F%) do material. Testes de hidrofobicidade da paina foram realizados de acordo com Ribeiro et al. (2000), onde se estimou o grau de hidrofobicidade (H%) da paina.

A determinação de umidade da fibra foi realizada de acordo com o método ABCP M1. Conduziu-se também análises para a determinação dos constituintes principais, ou seja, extrativos, lignina, holocelulose, hemicelulose, α -celulose e cinzas para a fibra de paina. As análises são somativas e os resultados são considerados aceitáveis variando numa faixa entre 98-102% (Klock e Muniz, 1998). O teor de extrativos foi determinado pelo método TAPPI T264-88. A determinação do teor de lignina klasson foi realizada pelo método TAPPI T222-88, enquanto o método TAPPI T257-85 foi utilizado para os teores de holocelulose (α -Celulose + hemicelulose) e α -Celulose.

A determinação de ceras se deu pela extração em soxhlet em um procedimento semelhante ao dos extrativos, porém com uso do metanol-tolueno em um ciclo durante 24 h. (Bledzki e Gassan, 1999). A determinação do teor de cinzas foi feita de acordo com a norma TAPPI T15-58 e é definida como sendo o resíduo após a calcinação a 575 $\pm$

25°C, por 5 h até que se queime toda a matéria orgânica. A estabilidade térmica de amostras de paina foi avaliada através da análise termogravimétrica (TGA) com atmosfera do forno enriquecido de O₂ a uma vazão de 15 ml/min e uma taxa de aquecimento de 2°C/minuto até 700°C, em equipamento Netzsch TGA 209.

A paina e resíduos de serragem (para comparação) foram submetidos à análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) antes e após a sorção de óleo, com o objetivo de se verificar as características morfológicas da superfície das fibras relacionadas com a sorção do petróleo. As amostras foram previamente recobertas com ouro em um equipamento da BAL-TEC. As micrografias foram realizadas no equipamento Philips modelo XL 30, com ampliações de 80X e 500X utilizando-se feixes eletrônicos com potências entre 5 e 10 KVA.

3. Resultados

Os resultados de sorção de óleo pela paina, sob diferentes condições, foram mostrados na parte I deste artigo. Alguns dos resultados encontrados incluem: i) Grande parte da sorção de óleo nas fibras de paina ocorre nos primeiros minutos, ou seja, grande parte do potencial de sorção das fibras é atingido em curto espaço de tempo. A taxa de sorção cai continuamente com o tempo e a capacidade máxima (99 g óleo/g de paina) é alcançada em 21 dias de sorção; (ii) A paina apresenta uma rápida e alta capacidade de sorção de óleo de aproximadamente 85 g óleo/g de paina em qualquer sistema estudado para um tempo de 24 horas. A mudança de água deionizada para água marinha artificial não exerce efeito significativo sobre os resultados de sorção, indicando que o comportamento de uma determinada barreira de sorção seria similar em qualquer meio. Também não há uma diferença significativa na sorção entre os sistemas estático e dinâmico, para períodos superiores a 60 minutos; (iii) A capacidade de sorção da paina aumenta com a diminuição de temperatura, e (iv) O teor de água sorvido concomitantemente ao óleo na paina não varia com o tempo de sorção, tendo-se mantido em uma faixa extremamente baixa para fibras vegetais, entre 2,7-4,1%. Estes resultados podem ser melhor explicados quando correlacionados com as análises físico-químicas e morfológicas da paina.

3.1. Composição Química da Paina

A superfície das fibras apresenta ceras e outras substâncias incrustantes como hemicelulose, lignina e pectina, que formam uma camada externa espessa (Reddy and Yang, 2005). Ceras fornecem uma camada de proteção na superfície das fibras, aumentando a oleofilicidade e hidrofobicidade das superfícies (Setti et al., 1999, Johnson et al., 1973) e tem sido mencionado ter uma forte relação com a adsorção de óleo (Pasila, 2004). Algodão tem entre 0,3-0,8% de teor de cera e sisal 0,3% (Setti et al., 1999; Bledzki and Gassan, 1999), enquanto um teor de cera de 1,5% foi encontrado neste trabalho para a paina e este elevado teor comparativo de cera ajuda a explicar a elevada capacidade de sorção observada e é um indicativo de uma alta hidrofobicidade.

A Tabela 1 mostra a composição, em porcentual sobre massa seca, que foi determinada para a paina, e de várias fibras lignocelulósicas, extraídas da literatura. A observação dos resultados indica uma grande variação na composição de um certo componente para uma única fibra. Esta é uma observação comum para fibras vegetais e ocorre principalmente em consequência da grande variabilidade das características de materiais naturais em geral, e não por erros analíticos. Assim como a composição, as propriedades de fibras são também reportadas variar consideravelmente (Joffe et al., 2003), com o clima, solo e espécie de planta, entre outros.

O teor dos principais constituintes da paina se encontra dentro da faixa encontrada para as outras fibras, embora pareça que o teor de holocelulose (α -celulose + hemicelulose) esteja na faixa superior. Como pode ser visto na Tabela 3, o algodão mostra um alto teor de α -celulose e um mais baixo teor de lignina + hemicelulose + ceras em comparação com a paina, e isto é um indicativo de um menor teor de sorção de óleo do algodão (30 g óleo/g algodão, como em Lee et al., 1999). Então, embora o algodão seja ideal para propósitos têxteis (alto teor de α -celulose), o seu uso na recuperação do óleo tem desvantagens associadas com a sua mais baixa hidrofobicidade e também alto custo.

Tabela 1. Composição de diversas fibras vegetais

Componente (%)	Paina*	Algodão	Serragem	Bucha vegetal	Sisal	Fibra de coco
α -Celulose	54,1	82,7 ^d ; 90 ^g	41,5 ^f	63,0 ^b	65,8 ^d ; 67 ^e ; 73,0 ^e ; 77 ^g	36-43 ^c ; 43,4 ^k ; 46 ^j ; 47 ⁱ ; 47,7 ^l ; 64 ^g
Hemicelulose	27,5	5,7 ^d	27,3 ^f	19,4 ^b	10,1 ^c ; 12 ^d	0,25 ^k ; 15 ^l ; 21 ^j ; 25,9 ^l
Lignina	15,1	0,2 ^h ; 1 ^g	25,7 ^f ; 28,6 ^a	11,2 ^b ; 15,2 ^h	6,5 ^h ; 7,6 ^c ; 9,9 ^d ; 12 ^e	17,8 ^l ; 27,2-33,8 ^h ; 31 ^{ij} ; 41-45 ^e ; 45,8 ^k
Extrativos	3,2	---	5,5 ^f	3,2 ^b	6,2 ^c	4 ^j ; 6,8 ^l
Cinzas	0,62	0,6 ^d	0,05 ^f ; 0,26 ^a	0,4 ^b	3,1 ^c	0,8 ^l ; 2,22 ^k
Umidade	9,2	8 ^g	9 ^f ; 53,9 ^a	7,8 ^b	6 ^g ; 11,7 ^c	12 ^g

* Este trabalho.

^a Lehtikangas, 2001.

^b Tanobe et al., 2005.

^c Sydenstricker et al., 2003.

^d Bledzki and Gassan, 1999.

^e Geethamma et al., 1998.

^f Batzias and Sidiras, 2004.

^g Edwards et al., 1997.

^h Kelley et al., 2004.

ⁱ Hill et al., 1998.

^j Khalil et al., 2001.

^k Khedari et al., 2005.

^l Raveendran et al., 1995.

3.2 Hidrofobicidade, Flutuabilidade e Comportamento Termogravimétrico

O baixo teor de água sorvido pela paina pode, em parte ser explicado pela sua alta hidrofobicidade, acima de 97%, como mostra a Tabela 2. A hidrofobicidade em água salgada foi maior em relação à água deionizada devido à mudança das características físico-químicas causadas no meio aquoso pelos diversos íons dos sais dissolvidos. Este resultado confirma a influência da presença de ceras na superfície da fibra na sua hidrofobicidade.

A flutuabilidade da paina (Tabela 2) foi avaliada em 100% em todas as condições experimentais simuladas, mostrando-se um material altamente promissor como sorvente industrial em corpos hídricos.

Tabela 2. Flutuabilidade e hidrofobicidade da paina em diversas condições experimentais

Hidrofobicidade		Flutuabilidade			
		Estático		Dinâmico	
Deionizada	Salgada	Deionizada	Salgada	Deionizada	Salgada
97,6%	98,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

O comportamento termogravimétrico das fibras de *paina* é apresentado na Figura 1, onde pode ser observada uma perda de massa da ordem de 7,8% até os 98°C, associada com a perda de voláteis e umidade, similar ao valor de 9,2% mostrado na Tabela 1 obtida por um outro método analítico. Uma nova perda de massa (aproximadamente 67%) é vista na faixa de 155-315°C, associada com a degradação da hemicelulose, e outra, na faixa de 315-410°C, associada com a degradação da celulose. Aquecimento posterior não revelou a presença de nenhuma outra etapa de degradação, justificando assim que na metodologia utilizada para identificação do teor de cinzas (temperatura de 575±25°C), não há interferência de restos de matéria orgânica nesta determinação. Este perfil termogravimétrico é similar ao reportado para o sisal e a luffa cilíndrica (Sydenstricker et al., 2003 e Tanobe et al., 2005, respectivamente) exceto pelo fato que, para a paina, as faixas de transições estão deslocadas para valores mais baixos.

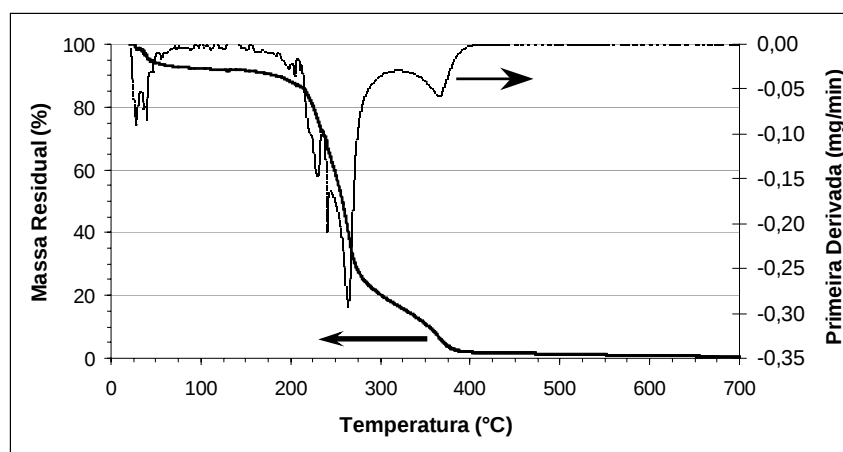


Figura 1. Comportamento termogravimétrico da *Chorisia speciosa*

3.3 Análise Morfológica da Paina por MEV

Entre os vários fatores que contribuem para uma alta capacidade de sorção do óleo pela paina como flutuabilidade, hidrofobicidade e oleofilicidade devido ao alto teor de ceras, a sua morfologia se destaca.

As Figuras 2(a) e 2(b) comparam o aspecto da paina antes e após a sorção do óleo e pode ser visto que o aspecto do óleo se assemelha a um filme conectando os vários filamentos da fibra, preenchendo os espaços vazios entre estes. Em uma maior ampliação, a Figura 2(c) destaca os espaços vazios disponíveis entre as fibras e a Figura 2(d), mostra a ocupação deste espaço pelo filme de óleo com a formação de um menisco devido a fenômenos de superfície. A característica morfológica da paina se assemelha à característica do algodão descrito em Balázszy e Eastop (1999) e a combinação entre arquitetura da fibra de paina e seu alto teor de volume livre induz uma alta sorção de óleo.

A presença destes filmes ajuda a explicar dois fatos reportados na parte I deste artigo: (i) Como a integridade desses filmes de óleo pode ser prejudicada por uma forte agitação, a sorção em sistema dinâmico tende a ser inferior à do sistema estático, e (ii) A capacidade de sorção da paina aumentou com a diminuição de temperatura, pois já que o mecanismo de retenção de óleo é basicamente pelo acúmulo deste nos espaços (volume) livres entre filamentos e não nos seus poros, a capacidade de sorção é bem menos afetada por um aumento de viscosidade. Além disso, quando o sorvente é removido do óleo, a maior coesividade do óleo, em viscosidades mais altas, arrasta mais óleo da superfície da água, aumentando a sorção medida.

As Figuras 3(a) e 3(b) comparam o aspecto da superfície da serragem antes e após a sorção do óleo. Em uma maior ampliação, a Figura 3(c) destaca os poros ao longo da superfície e a Figura 3(d) mostra a ocupação dos poros pelo filme de óleo. A comparação entre as Figuras 2(d) e 3(d) deixa claro que a paina permite o aprisionamento de um volume bem maior de óleo na sua estrutura fibrosa.

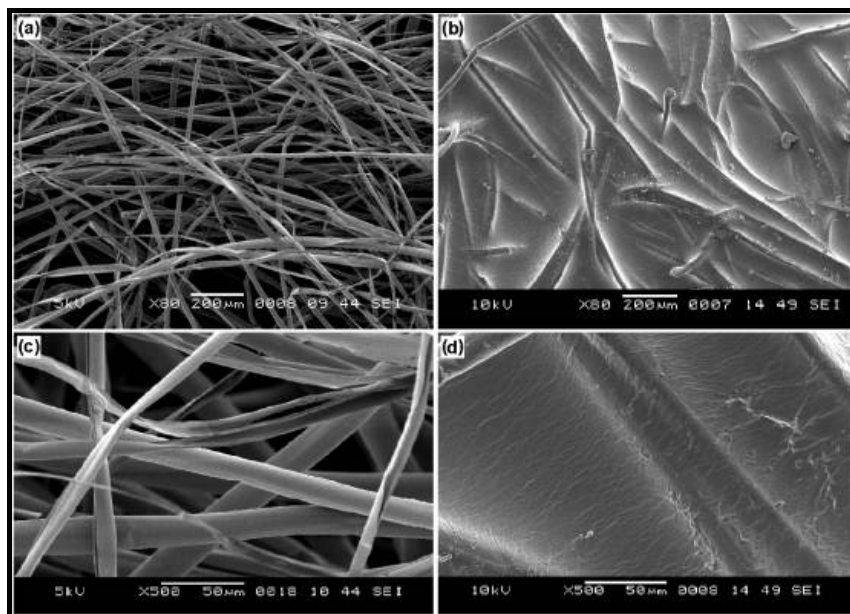


Figura 2. Fotos em microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras de *Chorisia speciosa* (a) Ampliação 80 X, fibra in natura; (b) Ampliação 80 X, a fibra após ter sorvido o óleo; (c) Ampliação 500 X, fibra in natura e (d) Ampliação 500 X, fibra após ter sorvido o óleo

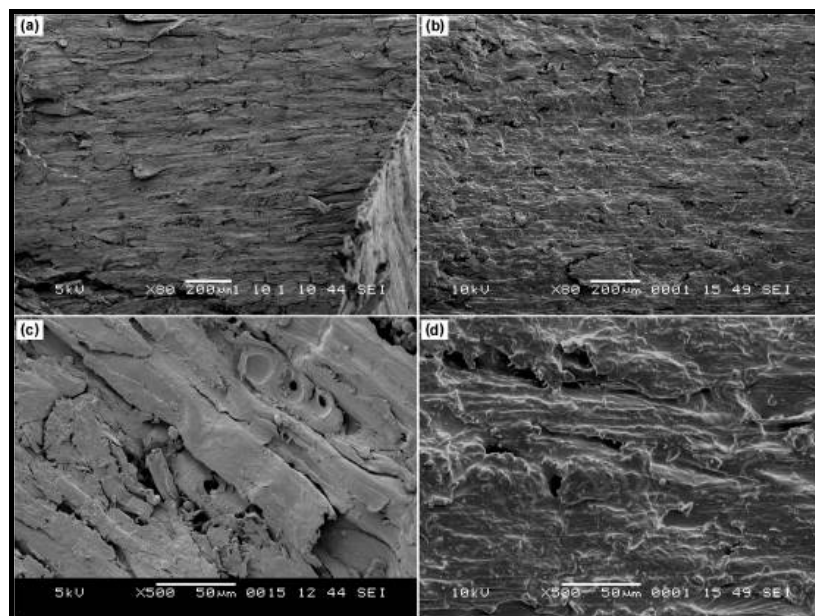


Figura 3. Fotos em microscopia eletrônica de varredura (MEV) das fibras de Serragem (a) Ampliação 80 X, fibra in natura; (b) Ampliação 80 X, a fibra após ter sorvido o óleo; (c) Ampliação 500 X, fibra in natura e (d) Ampliação 500 X, fibra após ter sorvido o óleo

4. Conclusões

A rápida e alta capacidade de sorção de óleo cru de aproximadamente 85 e 94 g de óleo/g paina em 1 dia e em 7 dias, respectivamente e a baixa sorção de água reportada na parte I deste artigo, foi discutida com base na estrutura dos seus filamentos fibrosos e na sua composição química, especialmente o seu arranjo emaranhado de filamentos fibrosos e o elevado teor de ceras na superfície e consequente hidrofobicidade (aproximadamente 98%). A paina apresentou excelente fluatuabilidade (100%) em todas as condições avaliadas, sendo indicada para a remediação também em corpos hídricos.

A paina apresentou excelente comportamento em todas as avaliações realizadas neste trabalho relacionadas com a exploração do seu potencial como material sorvente para óleo cru e equiparando a eficiência de materiais sintéticos, com a grande vantagem de ser ecologicamente mais amigável. Estas vantagens, aliada ao seu baixo custo, podem tornar esta fibra um produto nacional sorvente altamente competitivo no mercado, para situações de recuperação de óleo, na terra e em corpos hídricos, como enchimento de mantas, travesseiros ou barreiras tubulares.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o PRH-24/ANP/MCT, a Repar/Petrobrás, o Prof. Gabriel Souza/Lactec, a Prof. Jaisa Soares/UFPR, o Prof. Umberto Klock/UFPR e o Centro de Microscopia Eletrônica/UFPR.

6. Referências

- BALÁZSY, A.T., EASTOP, D. Chemical Principles of Textile Conservation. Ed Plant a Tree, 1999. Hungria.
- BATZIAS, FA., SIDIRAS, D.K. Dye adsorption by calcium chloride treated beech sawdust in batch and fixed-bed systems. *Journal of Hazardous Materials*, v. 114, n. 1-3, p.167-174, 2004.
- BLEDZKI, A.K., GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Prog. Polym. Sci.*, v. 24, p. 221-272, 1999.
- EDWARDS, H.G.M., FARWELL, D.W., WEBSTER, D. FT Raman microscopy of untreated natural plant fibres. *Spectrochimica Acta*, v. 53, Part A, p. 2383-2392, 1997.
- FENGEL, D., WEGENER, G. Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, 2Ed., USA, p. 66-100, 1989.
- GEETHAMMA, V.G., MATHEW, T., LAKSHMINARAYANAN, R., THOMAS, S. Composite of short coir fibres and natural rubber: Effect of chemical modification, loading and orientation of fibre. *Polymer*, v. 39, n. 6-7, p.1483-1491, 1998.
- HILL, C.A.S., KHALIL, H.P.S.A., HALE, M.D. A study of the potential of acetylation to improve the properties of plant fibres. *Industrial Crops and Products*, v. 8, p. 53-63, 1998.
- JOFFE, R., ANDERSONS, J., WALLSTROM, L. Strength and adhesion characteristics of elementary flax fibres with different surface treatments. *Composites Part A-Applied Science and Manufacturing*, v. 34, n. 7, p. 603-612, 2003.
- JOHNSON, R. F., MANJREKAR, T. G., HALLIGAN, J. E. Removal of oil from water surfaces by sorption on unstructured fibers. *Environmental Science and Technology*, v.7, n. 5, p. 439-443, 1973.
- KELLEY, S.S., ROWELL, R.M., DAVIS, M., JURICH, C.K., IBACH, R. Rapid analysis of the chemical composition of agricultural fibers using near infrared spectroscopy and pyrolysis molecular beam mass spectrometry. *Biomass & Bioenergy*, v. 27, n. 1, p. 77-88. 2004.
- KHALIL, H.P.S.A., ISMAIL, H., ROZMAN, H.D., AHMAD, M.N. The effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal*, v. 37, n. 5, p.1037-1045, 2001.
- KHEDARI, J., WATSANASATHAPORN, P., HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, v. 27, n. 1, p. 111-116, 2005.
- KLOCK, H., MUNIZ, G.I.B. Química da Madeira. Série Didática da FUPEF/PR, 2ª Edição. Curitiba- PR, 1998.
- LEE, B., HAN, J.S., ROWELL, R.M. Oil sorption by lignocellulosic fibers. In: Kenaf properties, processing and products, Mississippi State University, Ag. & Bio Engineering, p. 423-433, 1999.
- LEHTIKANGAS, P. Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark. *Biomass and Bioenergy*, v. 20, n. 5, p. 351-360. 2001.
- PASILA, A. A biological oil adsorption filter. *Marine Pollution Bulletin*, v. 49, n. 11-12, p. 1006-1012, 2004.
- RAVEENDRAN, K., GANESH, A.; KHILAR, K.C. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel*, v. 74, n. 12, p. 1812-1822, 1995.
- REDDY, N., YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends in Biotechnology*, v. 23, n. 1, p. 22-27, 2005.
- REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL. Projeto ISO-14001. São Paulo, ano IX, ed. 49, jun. 2004. Disponível em www.meioambienteindustrial.com.br. Acesso em: 14 jul. 2004.
- RIBEIRO, T.H., RUBIO, J., SMITH, R.W., RUBIO, J. Sorption of oils by a nonliving biomass of a *Salvinia* sp. *Environmental Science and Technology*, v. 34, n. 24, p. 5201-5205, 2000.
- SETTI, L., MAZZIERI, S., PIFFERI, P.G. Enhanced degradation of heavy oil in an aqueous system by a *Pseudomonas* sp. in the presence of natural and synthetic sorbents. *Bioresource Technology*, v. 67, n. 2, p. 191-199, 1999.
- SYDENSTRICKER, T.H.D., MOCHNACZ, S., AMICO, S.C. Pull-out and the evaluations in sisal-reinforced polyester biocomposites. *Polymer Testing*. v. 22, n. 4, p. 375-380, 2003.
- TANOBE, V.O.A., SYDENSTRICKER, T.H.D., MUNARO, M., AMICO, S.C. A comprehensive characterization of chemically treated Brazilian sponge-gourds. *Polymer Testing*. In Press, 2005.